

Das LPR-Verfahren zur Abschätzung der Korrosionsbelastung in Böden

The LPR method for estimation of corrosion damage in soils

Von Norbert Klein, Klaus-Erich Nowak und Hans-Jürgen Kocks

Die bisher übliche Bewertungspraxis der Korrosionsbelastung metallischer Werkstoffe in Böden beruht auf der Bestimmung der Abtragungsraten an ausgelagerten Mess- und Vergleichsproben und/oder der Beurteilung korrosionsrelevanter Bodenmerkmale entsprechend DIN 50929-3 und dem DVGW-Arbeitsblatt GW 9. In der Anlagentechnik existiert ein elektrochemisches Messverfahren (LPR-Verfahren) zur direkten Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit von Metallproben in Elektrolyten. Deshalb ist es nahe liegend, die Möglichkeiten dieses Verfahrens auch für die Bewertung der Korrosionsbelastung metallischer Werkstoffe in Böden zu prüfen. Beim LPR-Verfahren lässt sich der Zusammenhang zwischen dem Polarisationswiderstand eines elektrochemischen Systems und der Korrosionsgeschwindigkeit nutzen. Auf dem Markt sind erprobte Messgeräte erhältlich.

In der Anlagentechnik ist das LPR-Verfahren seit etwa 20 Jahren etabliert. Erste Erfahrungen mit dieser Bestimmungsmethode für die Bewertung metallischer Bauteile in Böden sind erfolgsversprechend. Vergleiche der Messergebnisse des LPR-Verfahrens mit den Ergebnissen anderer Messverfahren zur Ermittlung der Korrosionsbelastung erdüberdeckter Anlagen zeigen gute Übereinstimmung.

The evaluation procedure customary up to now for assessment of the corrosion rate of metals in soils is based on determination of the rates of erosion measured on exposed measuring and control specimens and/or by assessment of corrosion-relevant soil features in accordance with DIN 50929, Part 3 and DVGW Work Code GW 9. Plant engineering, however, uses an electrochemical measuring procedure (the LPR method) for direct determination of the rate of corrosion of metal specimens in electrolytes. It is therefore an obvious step also to use this procedure for the determination of the corrosion exposure of metals in soils. The LPR method utilizes the relationship between the polarization resistance of an electrochemical system and the rate of corrosion. Tried and proven measuring instruments are available on the market.

The LPR method has been established in plant engineering for around twenty years. Initial experience gained with this measurement method for evaluation of metal components in soils is highly promising. Comparative assessments of measured data obtained with the LPR method against the results of other measuring procedures for determination of rate of corrosion of soil-current systems indicate good accordance.

Problematik

Das Abschätzen der Korrosionsbelastung von Anlagen und Bauteilen aus Eisenwerkstoffen in Böden erfolgte bisher im Allgemeinen über das Bestimmen verschiedener Bodenmerkmale. Nach Wichten der Analysewerte ließen sich die Böden in drei Klassen einteilen. Auf diesem Vorgehen beruht das DVGW-Arbeitsblatt GW 9 [1] und DIN 50929-3 [2]. Schließlich zeigt auch DIN EN 12501 [3] diesen Weg auf, gibt aber in Tabelle 1 den Hinweis, dass die Böden auch auf Basis

von Abtragungsraten beurteilt werden könnten. Da jedoch während der Erarbeitung der Norm in Westeuropa keine Erfahrungswerte vorlagen, konnten diese auch keine Berücksichtigung in DIN EN 12501 finden.

Zur direkten Messung der momentanen Korrosionsgeschwindigkeit in Wässern hat sich vor allem in den USA und im englischen Sprachraum das LPR-Verfahren bewährt. Hierzu bestehen im US-amerikanischen Regelwerk Leitlinien (z. B. ASTM G 59 [4], G 96 [5] und G 102 [6]). Dieses Verfahren wurde

seit Mitte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts in der petrochemischen Verfahrenstechnik der DDR eingesetzt und versuchsweise auch zum Abschätzen der Korrosionsbelastung in Böden im Vergleich mit anderen Verfahren genutzt. Inzwischen liegen Erfahrungen aus mehr als zehn Jahren Messpraxis vor. In dieser Zeit wurde das LPR-Verfahren hauptsächlich zur Ermittlung des Ist-Zustandes von Stahlrohrleitungen parallel zur visuellen Messung von Abtragungsraten und Korrosionsnarbentiefe eingesetzt [8, 9]. Dabei ließ sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse feststellen. Diese Tatsache sollte Grund genug sein, das LPR-Verfahren künftig breiter zur Abschätzung der Korrosionsbelastung in Böden einzusetzen. Notwendig für die Einführung des Messverfahrens ist allerdings eine vergleichende Beurteilung mit den Verfahren nach dem bestehenden Regelwerk anhand von Beispielen aus der Praxis.

Grundlagen

LPR bedeutet Linearer Polarisations-Widerstand (engl.: **L**inear **P**olarisation **R**esistance). Aufgrund dieser Messgröße lässt sich die Abtragungsrate bzw. die Abtragungsgeschwindigkeit bestimmen.

Bei Korrosion entstehen anodische und kathodische Teilbereiche aufgrund der beiden Teilreaktionen: Metallabtrag an der Anode und Sauerstoffreduktion an der Kathode. Je nach Korrosionsart sind homogene und heterogene Mischelektroden zu unterscheiden. **Bild 1a** zeigt schematisch eine homogene Mischelektrode, bei der die beiden Teilreaktionen zeitlich ändernd an allen Stellen der Oberfläche ablaufen und beide örtlichen Teilstromdichten über die gesamte Oberfläche gleichmäßig verteilt sind. **Bild 1b** zeigt eine heterogene Mischelektrode. Die Teilreaktionen bleiben mehr oder weniger ausgeprägt an denselben Stellen. Es bilden sich anodische und kathodische Teilbereiche aus.

In beiden Fällen kann der fließende Korrosionsstrom nicht gemessen werden, weil die Teilbereiche an derselben Metallprobe leitend verbunden sind und nicht von einander getrennt werden können. Anders ist die Situation, wenn zwei Elektroden in das Korrosionsmedium getaucht werden. Beide Elektroden können über eine Brücke zu einem Stromkreis verbunden werden. Wenn die Elektroden identisch und die Bedingungen konstant sind, fließt kein Strom. **Bild 2a** zeigt diesen Zustand.

Beim Verbinden der beiden Elektroden mit einer Gleichspannungsquelle - wie in **Bild 2b** dargestellt - fließt bei einer Spannung E ein Strom I . Die Elektroden werden polarisiert, d. h. es bildet sich eine Anode, an der Metall abgetragen wird, und eine Kathode, an der Sauerstoff reduziert wird. **Bild 3** verdeutlicht

den Zusammenhang zwischen E und I, wenn geringe Spannungen von weniger als 20 mV angelegt werden.

Polarisiert man also zwei gleiche Elektroden in einem Elektrolyten durch Anlegen einer Gleichspannung E, so fließt ein Strom I. Da die Elektrodenoberflächen bekannt sind, lässt sich aus dem gemessenen Strom die entsprechende Stromdichte i bestimmen. Der Quotient E/i ist der Polarisationswiderstand R_p. Im geringen Spannungsbereich von maximal 20 mV besteht ein linearer Zusammenhang zwischen E und i. Dieser ist vorwiegend abhängig von der Art der Elektroden und des Korrosionsmediums, vgl. Bild 3.

Stern und Geary fanden 1957 heraus, dass die Korrosionsstromdichte und der Polarisationswiderstand über eine Konstante in Beziehung stehen:

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

- wenn die anodische und kathodische Teilreaktionen ablaufen, gilt:

$$B = \frac{b_A + b_K}{2,3 \cdot (b_A + b_K)} \text{ und}$$

$$i_{corr} = \frac{1}{R_p} \cdot \frac{b_A + b_K}{2,3 \cdot (b_A + b_K)}$$

- wenn die Reaktionen diffusionskontrolliert sind, gilt

$$B = \frac{b}{2,3} \text{ und } i_{corr} = \frac{1}{R_p} \cdot \frac{b}{2,3}$$

i_{corr}: Korrosionsstromdichte in μA/cm² (corrosion current density)

B: Stern-Geary-Konstante in V, wobei b_A und b_K aus den Tafel-Geraden stammen

R_p: Polarisationswiderstand in Ω cm².

Über die Korrosionsstromdichte lässt sich schließlich die Abtragsrate bestimmen. Abtragsrate und Korrosionsstromdichte sind umgekehrt proportional zum Polarisationswiderstand:

$$CR = f(i_{corr}) = f\left(\frac{1}{R_p}\right)$$

CR: Abtragsrate in mm/a (Corrosion rate).

Die Beziehung lässt sich aus dem Faraday-Gesetz herleiten (Bild 4):

$$CR = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{EW \cdot i_{corr}}{\rho}$$

Das Grammäquivalent EW (Equivalent Weight) und die Dichte ρ sind metallspezifische Größen. EW errechnet sich bei reinen Metallen aus dem Quotienten der Atommasse und der Ladungszahl, d. h. der zur Oxidation benötigten Elektronenanzahl. Bei Legierungen hilft ASTM G 102 in Abschnitt 4.3 weiter.

In Bild 4 wird die Beziehung zwischen Abtragsrate und Korrosionsstromdichte abgeleitet.

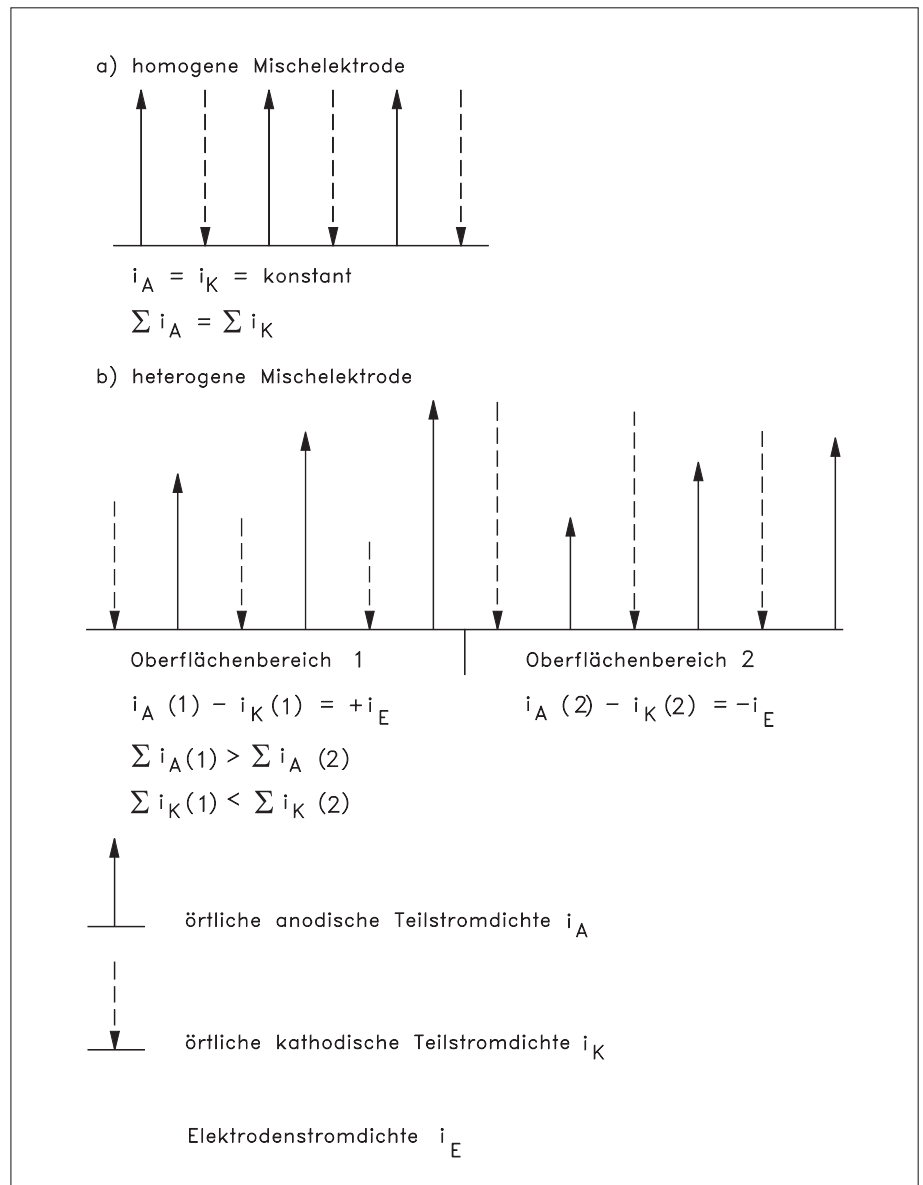


Bild 1: Teilstromdichte-Verteilung bei der Mischelektrode für freie Korrosion (aus zurückgezogener DIN 50900-2 [7])

Fig. 1: Partial current density distribution in a mixed electrode for free corrosion (from the withdrawn DIN 50900, Part 2 [7])

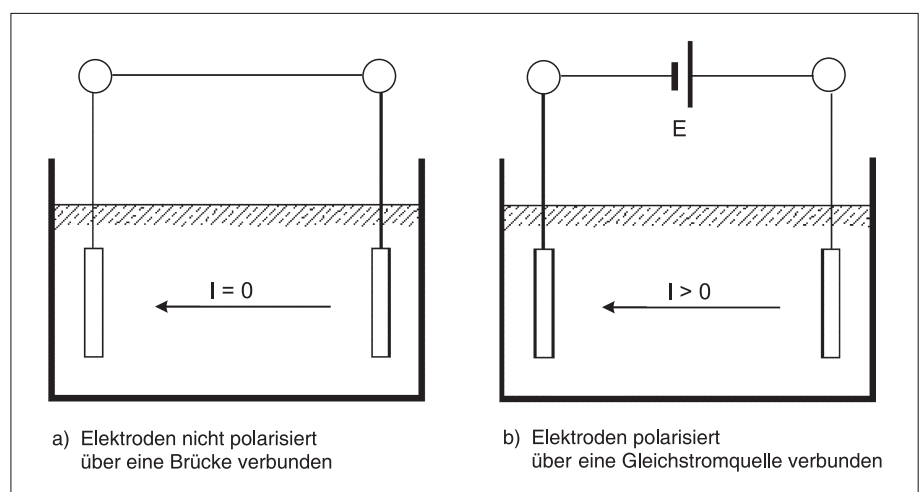


Bild 2: Zwei gleiche Metallelektroden in demselben Korrosionsmedium: a) Elektroden nicht polarisiert, über eine Brücke verbunden; b) Elektroden polarisiert, über Gleichstromquelle verbunden

Fig. 2: Two identical metal electrodes in the same corrosion fluid: a) Electrodes not polarized, connected via a jumper; b) Electrodes polarized, connected via a AC source

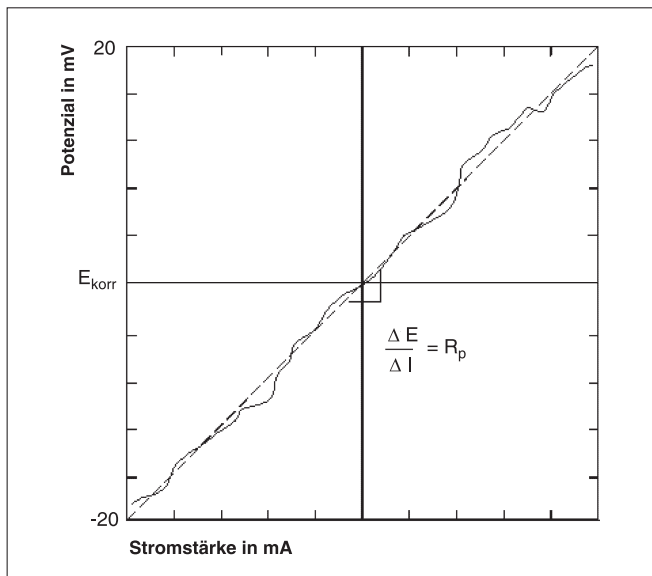


Bild 3: Strom-Spannung-Kurve beim Polarisieren zweier gleicher Elektroden in demselben Korrosionsmedium mit Spannungen von ±20 mV

Fig. 3: Current/voltage curve for polarization of two identical electrodes in the same corrosion fluid, at voltages of ±20 mV

Messung der Abtragungsraten mittels LPR-Verfahren

Für die Messungen stehen praxistaugliche Geräte zur Verfügung. Sie sind so ausgelegt, dass die Abtragungsraten für nicht und niedrig legierte Eisenwerkstoffe direkt abgelesen werden können. In der Messpraxis treten zwei Effekte auf, die unbedingt zu beachten sind, um zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen. **Tabelle 1** gibt zusammen mit **Bild 5** einen Überblick über diese Effekte und entsprechende Maßnahmen bezüglich *Anwendungsbereich* und *Ablesezeitpunkt* bei der Messung.

Anwendungsbereich

Zusätzlich zu den Polarisationswiderständen R_p an den beiden Elektroden ist der spezifische Widerstand des Korrosionsmediums R_s zwischen den Elektroden zu beachten. Alle Widerstände addieren sich. Bei gut leitenden Elektrolyten ist der Widerstand zwischen den beiden Elektroden sehr gering und damit vernachlässigbar. Bei erhöhten Elektrolytwiderständen vergrößert sich der Messfehler bei der Bestimmung des Polarisationswiderstandes.

Bild 6 zeigt den Anwendungsbereich des LPR-Verfahrens. Die diagonale Linie entspricht dem Bereich mit 20 % Messunsicherheit. Im Bereich unterhalb dieser Linie nimmt die Genauigkeit der Bestimmung zu. In einem beschränkten Bereich um und oberhalb der Linie lässt sich R_s korrigieren. So ermöglicht eine zuvor durchgeführte Messung von R_s mit hochfrequentem Wechselstrom eine Kompensation. Für Feldmessungen haben sich Geräteausführungen bewährt, mit denen in einem Messgerät zunächst R_s bestimmt und anschließend der gemessene R_p korrigiert werden kann. Bei hohen elektrischen Widerständen des Korrosionsmediums überwiegt R_s . Für diese Medien ist das LPR-Verfahren nicht geeignet. Informationen über die Einsatzbereiche mit oder ohne Kompensation gibt ASTM G 96 in Fig. 2.

In den üblichen vorkommenden Böden liegen die spezifischen elektrischen Widerstände zwischen 1 Ωm bis 100 Ωm (**Bild 7**), in trocknen Böden auch über 100 Ωm . Beispielsweise gibt DIN EN 12 501-2 in Tabelle B1 Werte für Tonböden von 5 Ωm bis 20 Ωm an. Trockne Böden, besonders Sandböden, Konglomerate oder Schieferböden können Werte zwischen 100 Ωm bis 500 Ωm aufweisen. In diesen Fällen sind die Korrosionsvorgänge sehr gering. Deshalb eignen sich solche Sande auch für eine korrosionsschutzgerechte Bettung, vgl. DIN EN 12501-2 Abschnitt 4.2.5 und Tabelle 3.

Aufgrund dieser Betrachtung lässt sich das LPR-Verfahren in den üblichen Böden nach einer Messung des spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes einsetzen. Bei diesen Böden ist R_s gegenüber R_p vernachlässigbar klein.

Beim Bestimmen erhöhter Abtragungsraten ist zu beachten, dass sich die Genauigkeit verringert. Oberhalb der in Bild 6 eingezeichneten

Faraday'sches Gesetz $Q = n \cdot z \cdot F$	Q: Ladung in C m/M: Stoffmenge in mol z: Ladungszahl F: Faraday-Konstante 96489 C/mol
Ersatz von n durch m/M $Q = \frac{m}{M} \cdot z \cdot F$ nach Umstellung $m = \frac{M \cdot Q}{z \cdot F}$	m= Masse in g M: Molmasse in g/mol
Ersatz von Q durch I · t	I: Strom in A t: Zeit in s
Ersatz von m durch $\rho \cdot d \cdot A$ aus $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{d \cdot A}$	ρ : Dichte in g/cm ³ d: Schichtdicke in cm A: Fläche in cm ²
$\rho \cdot d \cdot A = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$ nach Umstellung $d = \frac{M}{z} \cdot \frac{I}{A} \cdot \frac{1}{\rho \cdot F}$	$\frac{d}{t}$: Abtragsrate in cm/s $\frac{M}{z}$: Grammäquivalent in g/mol $\frac{I}{A}$: Stromdichte in A/cm ²
Umrechnung in $CR = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{EW \cdot i_{corr}}{\rho}$	CR: Corrosion Rate = Abtragsrate in $\mu\text{m/a}$ i_{corr} : Korrosionsstromdichte in $\mu\text{A/cm}^2$ EW = Equivalent Weight = Grammäquivalent in g/mol
Der Faktor 3,27 errechnet sich aus dem Quotienten 31,54/9,649	

Bild 4: Beziehung zwischen Abtragsrate und Korrosionsstromdichte

Fig. 4: Relationship between rate of erosion and corrosion current density

Tab. 1: Effekte und Maßnahmen in der Messpraxis

Table 1: Effects and corrective action in mensurational practice

Effekt	In Bild 5	Maßnahme	beschrieben im Abschnitt
Erhöhte Elektrolytwiderstände	R_s	Anwendungsbereich einhalten	Anwendungsbereich
Kapazitive Schichten auf Elektrodenflächen	C_E	Einstellzeit abwarten	Ablesezeitpunkt

Grenzwert erhöht sich die Messunsicherheit auf über 20 %. Erfahrungsgemäß liegen die Abtragungsraten in den üblichen Böden weit unter dieser Anwendungsgrenze des Messverfahrens.

Die in Bild 7 farblich gekennzeichneten Bereiche umfassen folgende Bodenarten:

- rosa: Böden in Meeresnähe, verunreinigte Böden
- gelb: Tonböden entsprechend DIN EN 12501-2 Tabelle B1
- ocker: sandige Lehmböden.

Die Messung in frisch entnommenen Bodenproben ergibt die Abtragungsrate des Bodens mit seiner momentanen Feuchte. Ähnlich wie in DIN EN 12501-2 für die Bestimmung des Bodenwiderstandes beschrieben, kann nach Zugabe von deionisiertem Wasser die maximal mögliche Abtragungsrate des Bodens bestimmt werden. Dies hat weiterhin den Vorteil, dass bei hochohmigen Böden wie z. B. Sandböden störende Übergangswiderstände zwischen Elektroden und Korrosionsmedium gering gehalten werden können.

Ablesezeitpunkt

Neben den Polarisationswiderständen bilden sich bei Kontakt mit dem Boden und Anlegen einer Spannung auf den Messelektroden auch kapazitive Schichten. Die kapazitive Komponente ist in Bild 5 mit C_E gekennzeichnet. Die angelegte Spannung bewirkt, dass sich die als Kondensatoren wirkenden Schichten aufladen und ein Ladestrom fließt. Dieser Ladestrom täuscht zu Beginn der Messung eine zu hohe Korrosionsgeschwindigkeit (v_L) vor. Wie bei Kondensatoren üblich, fällt der Ladestrom nach einer gewissen Zeit asymptotisch auf einen praktisch konstanten Wert ab (Bild 8). Die Zeit t_E beträgt je nach Elektrolyt zwischen 0,5 und 30 Minuten.

Beim Bestimmen der Korrosionsgeschwindigkeit in Böden ist dieser Effekt zu berücksichtigen. Erfahrungsgemäß stabilisieren sich die Werte bei der Messung in Böden nach 1 bis 3 Minuten. Nach dieser Einstellzeit t_E lässt sich so der relevante Wert für die Korrosionsgeschwindigkeit v_K ablesen (vgl. Bild 8).

Abschätzung der Korrosionsart

Die meisten der auf dem Markt befindlichen Messinstrumente verfügen über eine Schaltung, bei der nach der Messung des Polarisationswiderstandes ein hoch empfindlicher Strommesser als Brücke zwischen den Elektroden dient. Diese ZRA-Funktion (Zero Resistance Ammeter) informiert über den Strom zwischen den kurzgeschlossenen unterschiedlich polarisierten Elektroden. Die Schaltung entspricht Bild 2a, wobei jedoch über den Strommesser als Brücke nach einer bestimmten Polarisationsdauer (Schaltung laut Bild 2b) ein Strom fließen kann. Der gemessene Strom i_{ZRA} lässt sich mit dem Kor-

Bild 5: Schaltbild einer Zweielektroden-Messeinrichtung: T und A sind die beiden Elektroden; R_P und R_S sind gemessenen Widerstände an und zwischen den Elektroden; C_E sind die Kapazitäten bedingt durch die Schichten um die Elektroden

Fig. 5: Circuit diagram for a two-electrode measuring system: T and A are the two electrodes; R_P and R_S are resistances measured on and between the electrodes; C_E are the capacitances caused by the layers around the electrodes

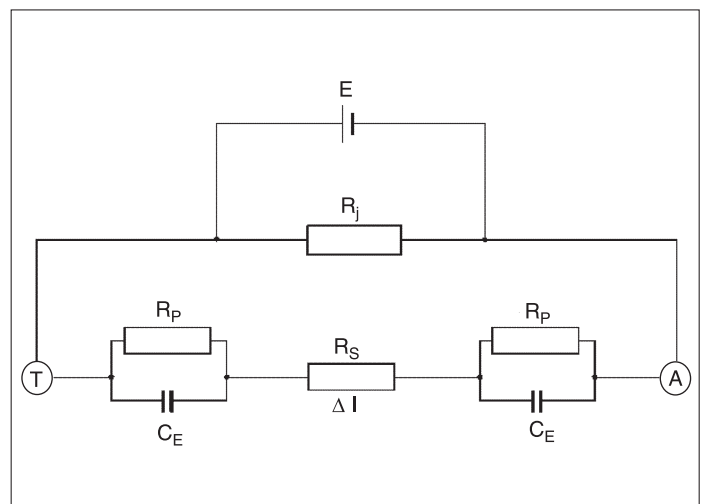


Bild 6: Anwendungsbe- reich des LPR-Verfahrens

Fig. 6: Range of applica- tion of the LPR method

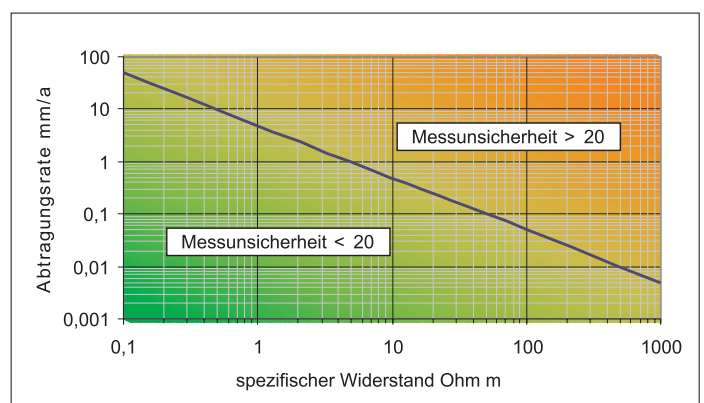


Bild 7: Anwendungsbe- reich des LPR-Verfahrens zum Bestimmen der Ab- tragungsrate in Böden

Fig. 7: Range of applica- tion of the LPR method for determination of rate of erosion in soils

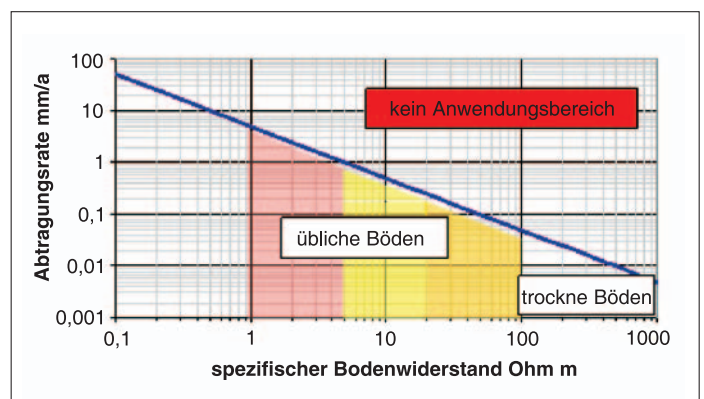
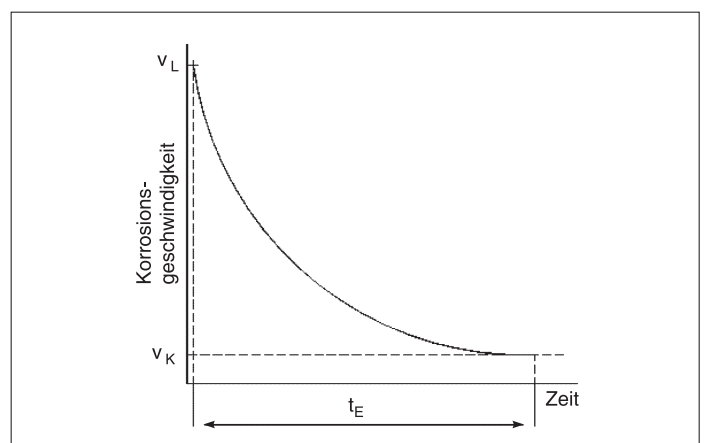


Bild 8: Einstellzeit des Messsystems während t_E : durch Ladestrom vorge- täuschte Korrosionsge- schwindigkeit v_L ; Momen- tane Korrosionsgeschwin- digkeit v_K nach t_E

Fig. 8: Reaction time of the measuring system during t_E : rate of corrosion v_L simulated by charging current; after t_E : instan- taneous rate of erosion v_K



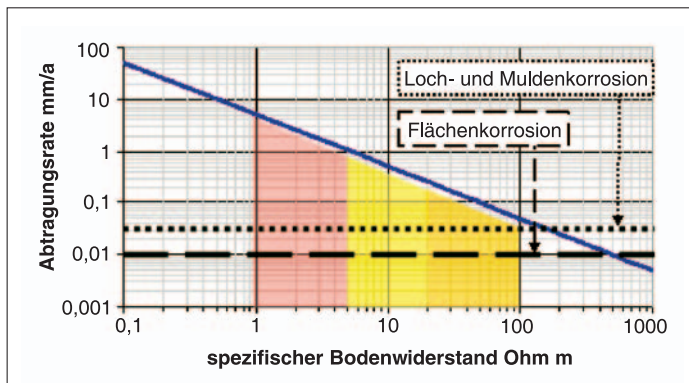


Bild 9: Sehr geringe Korrosionswahrscheinlichkeit gemäß DIN 50929-3

Fig. 9: Extremely low probability of corrosion in accordance with DIN 50929, Part 3

korrosionsstrom i_{corr} vergleichen, woraus Aussagen zur Korrosionsart möglich sind.

$\frac{i_{ZRA}}{2} < i_{corr}$: überwiegend Flächenkorrosion

$\frac{i_{ZRA}}{2} > i_{corr}$: überwiegend Lochkorrosion

Diese Aussagen stehen im Einklang mit der Darstellung der Teilstromdichteverteilung nach Bild 1. Im Falle der homogenen Mischelektroden führt nur die Polarisierung zu Korrosion, während bei heterogenen Mischelektroden an den Oberflächenbereichen zusätzliche Reaktionen ablaufen. Der Oberflächenbereich I entspricht den Verhältnissen an der Anode, während der Oberflächenbereich II die Verhältnisse an der Kathode wiedergibt. Zwischen beiden Bereichen fließt auch nach Abschalten der Polarisierungsspannung ein Strom, der auf die Lochkorrosion zurückzuführen ist.

DIN 50929-3 informiert über die Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden. Diese ist für Flächenkorrosion in den Bodenklassen Ia und Ib, für Mulden- und Lochkorrosion in der Bodenklasse Ia sehr gering. Die Richtwerte zur Abschätzung der mittleren Korrosionsgeschwindigkeit betragen in diesen Fällen maximal 0,01 mm/a bzw. 10 µm/a für die Abtragsrate und 0,03 mm/a bzw. 30 µm/a für die maximale Eindringrate. Es handelt sich bei diesen Angaben um grobe Richtwerte, die um einen Faktor 2 schwanken können.

Bild 9 informiert über diese Korrosionsgeschwindigkeiten in Beziehung zum Anwendungsbereich des LPR-Verfahrens. Im Bereich unterhalb der Linien ist die Korrosionswahrscheinlichkeit für Flächenkorrosion (gestrichelte Linie) sowie für Loch- und Muldenkorrosion (gepunktete Linie) sehr gering.

Erfahrungen mit dem LPR-Verfahren

Mit dem LPR-Verfahren steht ein Verfahren zur Messung der momentanen Korrosionsgeschwindigkeit von Metallen in Elektrolyten zur Verfügung, das seit mehr als 20 Jahren auch zur Bewertung der Korrosionsbelastung von Eisenwerkstoffen in Böden versuchsweise angewendet wird. Ausgangspunkt waren nicht

veröffentlichte vergleichende Untersuchungen im Deutschen Brennstoffinstitut, Fachbereich Leipzig in den Jahren 1984 bis 1989, bei denen die Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren gegenübergestellt wurden. Geprüft wurden unter gleichen Bedingungen die Reaktionen an Kupons, Widerstandssonden (ER-Sonden) und LPR-Sonden. Das Ergebnis der Vergleichsmessungen zeigte die Tauglichkeit der Messverfahren zur Bestimmung der Korrosionsbelastung von Eisenwerkstoffen in Böden. Die Messergebnisse waren reproduzierbar und plausibel.

In den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde die Forderung nach einer Bewertungsmethode von erdverlegten Stahlrohrleitungen und der zu erwartenden Restnutzungsdauer laut. In diesem Zusammenhang kam das LPR-Verfahren zum Einsatz, um die Korrosionsbelastung der zu untersuchenden Rohrleitungen zu bestimmen. An freigelegten Rohrleitungsbereichen ließen sich Korrosionsangriffe vermessen und mit Werten, die mit dem LPR-Verfahren gemessen wurden, verglichen. Dabei war eine sehr gute Übereinstimmung festzustellen, sofern keine signifikante Belastung der Rohrleitung durch Ströme wie Streuströme oder Langstreckenströme vorhanden war. Diese Einschränkung gilt auch bei kathodisch geschützten Rohrleitungen. In diesen Fällen lassen sich die mit dem LPR-Verfahren ermittelten Korrosionsgeschwindigkeiten nicht ohne weiteres zur Bewertung des Zustandes der Rohrleitung heranziehen.

Fazit

20 Jahre Erfahrung mit dem LPR-Verfahren lassen erwarten, dass die Korrosionsgeschwindigkeit von Stahlkonstruktionen und damit die Korrosionsbelastung metallischer Werkstoffe in Böden direkt vor Ort abgeschätzt werden kann. Es fehlen jedoch bisher Erkenntnisse über die Grenzen und Messungenauigkeiten dieses Verfahrens gegenüber der bisher mit Erfolg angewendeten Bewertung von Böden auf Basis analytischer Daten von Bodeneigenschaften und -zusammensetzung entsprechend dem DVGW-Arbeitsblatt GW 9 bzw. DIN 50929-3. Hier

wäre es wünschenswert, alle Erkenntnisse in der Anwendung von Verfahren einer direkten Bestimmung der Korrosionsbelastung vor Ort zu bündeln und im Rahmen eines DVGW-Forschungsvorhabens die Messergebnisse mit denen der klassischen Bewertungsmethodik abzugleichen.

Literatur

- [1] DVGW GW 9 (A) „Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen“ (zzt. in Überarbeitung)
- [2] DIN 50929-3 „Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern“
- [3] DIN EN 12501 „Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe, Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden; Teil 1 Allgemeines; Teil 2 Niedrig- und unlegierte Eisenwerkstoffe“
- [4] ASTM G 59 “Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements”
- [5] ASTM G 96 “Standard Guide for On-Line Monitoring of Corrosion in Plant Equipment (Electrical and Electrochemical Methods)”
- [6] ASTM G 102 “Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements”
- [7] DIN 50 900-2 „Korrosion der Metalle; Begriffe, Elektrochemische Begriffe“ (zurückgezogen)
- [8] Wossog, G.: Handbuch Rohrleitungsbau Band I: Planung, Herstellung, Errichtung; 2. Auflage, Essen: Vulkan-Verlag, 2001
- [9] Nowak, K.-E.: Korrosionsdiagnostik, ein Beitrag zur qualifizierten Rehabilitation von Stahlrohrleitungen; 3R internat. 42 (2003) Nr. 6, S. 409-414

Autoren:

Dr. rer. nat. Norbert Klein
Technische Unternehmensberatung: Rohrleitungen, Korrosion, Korrosionsschutz, Desinfektion, Grosbliederstroff (F)

Tel. +33(0)387/091805
E-Mail: norbert.klein@free.fr



Dr.-Ing. Klaus-Erich Nowak
Sachverständigen- und Ingenieurbüro Dr.-Ing. Klaus-Erich Nowak, Markkleeberg

Tel. +49(0)341/3389461
E-Mail: kenowak@t-online.de



Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Kocks
MANNESMANN FUCHS ROHR, Röhrenwerk Gebr. Fuchs, Siegen

Tel. +49(0)271/691170
E-Mail: Hans-Juergen.Kocks@mannesmann-fuchs.com

